

Статья поступила в редакцию: 03.07.2026

Статья принята к публикации: 16.07.2026

Статья опубликована: 28.09.2026

УДК 622.8+539.3

Численное моделирование и оценка закономерностей развития зон концентрации напряжений в массиве горных пород при влиянии горных работ

Салямова Клара Джаббаровна

д-р. техн. наук, проф.

вед. науч. сотр. Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: klara_51@mail.ru

Меликулов Абдусаттар Джаббарович

канд. техн. наук, доц.

заместитель генерального директора ООО Спецуправление № 75

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: konchilk@mail.ru

Уралбаев Абдукахар Джаппарович

ведущий инженер

производственного контроля АРУ АО Алмалыкский ГМК

Республика Узбекистан, г. Алмалык

E-mail: Абдукахар_дж@mail.ru

Бакиров Гайрат Холикбердиевич

PhD, доц., доц.

кафедры Горное дело Алмалыкского государственного технического ин-та

Республика Узбекистан, г. Алмалык

E-mail: gayratbakirov3004@gmail.com

Абдувахобов Жавохир Собир угли

магистр кафедры Горное дело, Алмалыкский государственный технический институт

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: J.S.Abduvahobov@gmail.com

Библиографическое описание: Численное моделирование и оценка закономерностей развития зон концентрации напряжений в массиве горных пород при влиянии горных работ // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Салямова К.Д. [и др.]. 2026. 9(150). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23370>

Numerical modeling and evaluation of the development patterns of stress concentration zones in a rock mass under the influence of mining operations

Salyamova Klara Dzhabarovna

DSc, Professor, Leading Science Researcher

Institute of Mechanics and Seismic Stability of Constructions of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Melikulov Abdusattar Dzhabbarovich

PhD, Associate Professor

Deputy General Director, Special Administration Co., LLC

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Uralbaev Abdukakhar Dzhabbarovich

Leading Engineer of Production Control,

Angren Mining Administration,

JSC "Almalyk Mining and Metallurgical Complex"

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Bakirov Gayrat Kholikberdievich

PhD, Associate Professor

of the Department of Mining Engineering, Almalyk State Technical Institute

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Abduvahobov Javohir Sobir o'g'li

Master's Student Department of Mining Engineering Almalyk State Technical Institute Tashkent

Region

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Аннотация

В статье представлены результаты исследований, направленных на оценку геомеханического состояния массива горных пород в условиях ведения горных работ на рудниках, входящих в состав Ангренского рудоуправления. Актуальность исследований обусловлена существенным изменением исходного напряжённого состояния массива горных пород вследствие увеличения глубины освоения месторождений, роста объёмов и интенсивности горных работ, а также расширения выработанных пространств. В данных условиях под воздействием горных работ происходит перераспределение естественного поля напряжений, что может приводить к формированию локальных зон концентрации напряжений и областей разгрузки массива. Указанные геомеханические процессы способны вызывать деформацию контура подземных сооружений, разрушение горных пород, снижение устойчивости кровли горных выработок и, как следствие, оказывать негативное влияние на безопасность ведения горных работ. Основной целью исследования является установление закономерностей изменения напряжённо-деформированного состояния окружающего массива горных пород в результате ведения горных работ на рудниках Ангренского рудоуправления, оценка механизмов перераспределения напряжений, а также определение условий формирования зон их концентрации и релаксации.

На основе полученных результатов обеспечивается возможность оценки геомеханического состояния массива горных пород, заблаговременного выявления потенциально опасных зон концентрации напряжений и областей релаксации, а также прогнозирования устойчивости подземных сооружений. Результаты исследования могут быть использованы в качестве научно-практической основы для выбора рациональной

последовательности ведения горных работ на рудниках Ангренского рудоуправления, обоснования параметров крепления горных выработок и разработки технических мероприятий, направленных на повышение устойчивости горных выработок и безопасности ведения подземных горных работ.

Abstract

The article presents the results of research aimed at assessing the geomechanical state of the rock mass under mining conditions at the mines operated by the Angren Mining Administration. The relevance of the study is determined by significant changes in the initial stress state of the rock mass resulting from increasing mining depth, growing mining volumes and intensity, as well as the expansion of mined-out areas. Under these conditions, mining operations induce a redistribution of the natural stress field, which may lead to the formation of localized zones of stress concentration and areas of stress relief within the rock mass. These geomechanical processes can cause deformation of the contours of underground structures, rock failure, and a reduction in the stability of mine excavation roofs, thereby adversely affecting the safety of mining operations. The main objective of the study is to establish the patterns of changes in the stress–strain state of the surrounding rock mass resulting from mining operations at the mines of the Angren Mining Administration, to assess the mechanisms of stress redistribution, and to determine the conditions governing the formation of zones of stress concentration and relaxation.

Based on the results obtained, it is possible to assess the geomechanical state of the rock mass, identify potentially hazardous zones of stress concentration and areas of stress relaxation in advance, and predict the stability of underground structures. The results of the study can be used as a scientific and practical basis for selecting a rational sequence of mining operations at the mines of the Angren Mining Administration, substantiating the parameters of mine excavation support, and developing technical measures aimed at improving the stability of mine excavations and ensuring the safety of underground mining operations.

Ключевые слова: численное моделирование, концентрация напряжений, горные выработки, геомеханика, перераспределение напряжений, напряжённое состояние, горным давлением, релаксационные зоны, тектонических нарушений.

Keywords: numerical modeling, stress concentration, mine workings, geomechanics, stress redistribution, stress state, rock pressure, relaxation zones, tectonic disturbances.

Введение

В современных условиях углубления горных работ и повышения интенсивности добычи полезных ископаемых в массиве горных пород под влиянием совокупности природных и техногенных факторов происходит формирование сложного напряжённо-деформированного состояния. В связи с этим разработка и совершенствование методов эффективного управления горным давлением, а также установление количественных закономерностей воздействия горных работ на массив пород, вмещающий подземные горные выработки, представляют собой важную и актуальную научно-практическую задачу.

На рудном поле месторождения «Кызыл-Олма» участки Самарчук являются основными участками ведения горных работ. При отработке промышленных запасов на данных участках деформационные процессы в окружающем массиве горных пород распространяются на значительные расстояния, вплоть до приповерхностной зоны. Кроме того, для обеспечения сохранности подземных сооружений возникает необходимость оставления охранных целиков в определённом количестве и в соответствии с установленным порядком их расположения.

Развитие фронта горных работ на месторождении требует реализации комплекса определённых мероприятий, направленных на обеспечение устойчивости и сохранности подземных сооружений. Одновременное развитие горных работ на различных участках месторождения существенно усложняет процесс обеспечения устойчивости подземных сооружений, поскольку реализация необходимых защитных мероприятий требует значительных финансовых инвестиций и продолжительного времени. Разлом Гушсай, расположенный в центральной части месторождения, имеет мощность до 400–550 м и протяжённость до 850–1100 м. Рудное тело, расположенное в центральной части месторождения. Его мощность изменяется от 30–40 м до 180–200 м, а протяжённость достигает 1000 м.

Материалы и методы

Достижения многих отраслей промышленности неразрывно связаны с широким внедрением компьютерных технологий. В настоящее время ведутся интенсивные исследования и разрабатываются различные программные комплексы, предназначенные для анализа параметров геомеханических процессов, происходящих в массиве горных пород при ведении горных работ. К таким параметрам относятся напряжённо-деформированное состояние массива, смещения отдельных участков массива, развитие процессов деформирования горных пород вокруг горных выработок во времени, укрепление нарушенными породами, их взаимодействие и влияние на напряжённое состояние и смещение горных пород, а также воздействие горнотехнических работ на состояние массива. Вместе с тем существующие программные разработки сталкиваются с рядом существенных трудностей, связанных с вероятностным характером и недостаточной достоверностью исходных данных, необходимостью учёта сложной иерархической и неоднородной структуры массива, технологических особенностей строительства и эксплуатации шахт, а также их изменений во времени и пространстве [1].

Результаты и обсуждение

В связи с этим построение реальных расчётных схем без применения специальных методов расчёта становится практически невозможным. Реализация таких расчётов осуществляется исключительно с использованием компьютерных технологий. Среди указанных методов расчёта в первую очередь следует выделить метод конечных элементов (МКЭ) [2].

В процессе завершения горных работ на подэтажах горизонта +925, Характер распределения тангенциальных напряжений t_m в массиве горных пород после проведения горных работ на площади месторождения «Кызыл-Алма» представлены на рисунке 1.

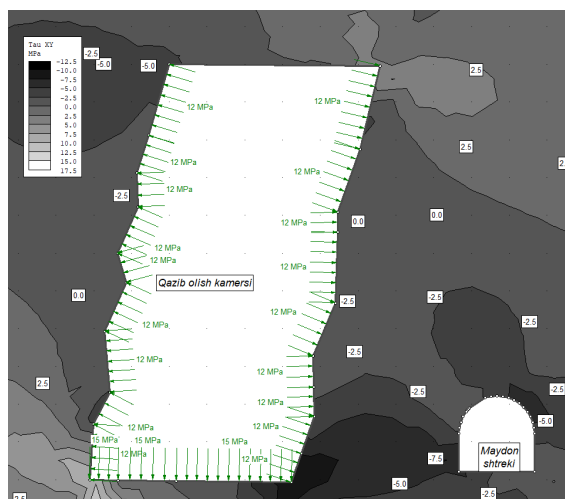


Рисунок 1. Характер распределения тангенциальных напряжений τ_t в массиве горных пород после проведения горных работ на площади месторождения «Кызыл-Алма»

При проведении подземных горных работ важное значение имеет оценка устойчивости массива горных пород, окружающего очистное пространство. В условиях интенсивного деформирования породного массива возможно возникновение локальных разрушений, способных негативно повлиять на устойчивость горных выработок и безопасность технологического процесса. В связи с этим выявление потенциально опасных участков массива на стадии прогнозирования и разработка соответствующих мер по предупреждению разрушений являются необходимыми условиями обеспечения безопасного и бесперебойного ведения горных работ.

Для количественной оценки характера деформирования и возможного разрушения породного массива выполнено численное геомеханическое моделирование с использованием программного комплекса ROCSCIENCE (Examine 2D). Результаты расчетов показали, что сформировавшаяся вокруг очистного блока зона разрушения имеет сравнительно небольшие размеры и не оказывает существенного влияния на устойчивость окружающего массива при рассматриваемых условиях.

При построении расчетной модели первоначально формируется геометрическая схема исследуемого участка, после чего определяются соответствующие начальные и граничные условия. Особое внимание при моделировании напряженно-деформированного состояния трещиноватого массива уделяется учёту его природной структурной неоднородности. В зависимости от характера пространственной ориентировки и взаимного расположения трещин породный массив может быть представлен тремя основными структурными типами: массивом с системой протяжённых параллельно ориентированных трещин; массивом с выраженной блочной структурой; массивом с системой трещин, характеризующихся неупорядоченной, или хаотической, пространственной ориентировкой.

Выбор соответствующей расчётной схемы позволяет более адекватно учитывать особенности деформирования и разрушения различных структурных разновидностей породного массива. При этом механическое поведение трещиноватого массива в значительной степени определяется его прочностными и деформационными характеристиками, которые должны быть обоснованы до выполнения численных расчётов.

В рамках метода конечных элементов (МКЭ) определение механических параметров массива осуществляется с использованием усовершенствованного варианта методики, основанной на критерии прочности Хука–Брауна (Hooke–Brown). Данный подход позволяет учитывать влияние структурных особенностей и степени нарушенности массива на его прочностное состояние и деформационные свойства. Для массива, характеризующегося системой параллельно ориентированных трещин, расчёт упругих характеристик выполняется на основе соответствующих зависимостей с дополнительным учётом состояния трещин. В частности, отдельно рассматривается случай открытых (несомкнутых) трещин, поскольку их наличие существенно влияет на эффективные деформационные характеристики и перераспределение напряжений в окружающем массиве.

Модуль упругости массива в вертикальном направлении:

$$E_v = \frac{E}{1 + \sum_{i=1}^n \mu_i (1 - \sin^4 \theta_i)} \quad (1)$$

Модуль упругости массива в горизонтальном направлении:

$$E_v = \frac{E}{1 + \sum_{i=1}^n \mu_i (1 - \cos^4 \theta_i)} \quad (2)$$

Коэффициент Пуассона:

$$\nu_1 = \nu + \sum_{i=1}^n \mu_i \cos^4 \theta_i \sin^4 \theta_i \quad (3)$$

где: μ_i – геометрическая характеристика i -й системы трещин, отражающая ориентацию; плотность и особенности пространственного расположения трещин; θ_i – угол внутреннего трения сыпучего материала; E и ν – соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона пород, составляющих массив горных пород.

Результаты численного моделирования напряжённо-деформированного состояния массива горных пород по компоненте горизонтальных напряжений после отработки двух маломощных рудных тел, расположенных на горизонте +925 м центрального участка рудника «Кызыл-Алма», представлены на рисунке 2. Полученные результаты характеризуют пространственное перераспределение горизонтальных напряжений в массиве горных пород под влиянием проведённых горных выработок и позволяют оценить изменение напряжённого состояния в окрестности отработанных рудных тел. На основе результатов моделирования установлены области повышенной и пониженной концентрации горизонтальных напряжений, формирующиеся вследствие изменения первоначального равновесного состояния массива при ведении горных работ.

В процессе численного моделирования были приняты следующие механические характеристики рудного тела и вмещающих горных пород, определяющие их напряжённо-деформированное состояние и механическое поведение при воздействии горных работ:

объёмный вес горных пород $\gamma = 0,025 \text{ МН/м}^3$; модуль Юнга для рудного тела $E = 3850 \text{ МПа}$, для вмещающих горных пород $E = 6100 \text{ МПа}$; коэффициент Пуассона руды – $0,27$; удельный вес горных пород принят равным $0,022 \text{ МН/м}^3$.

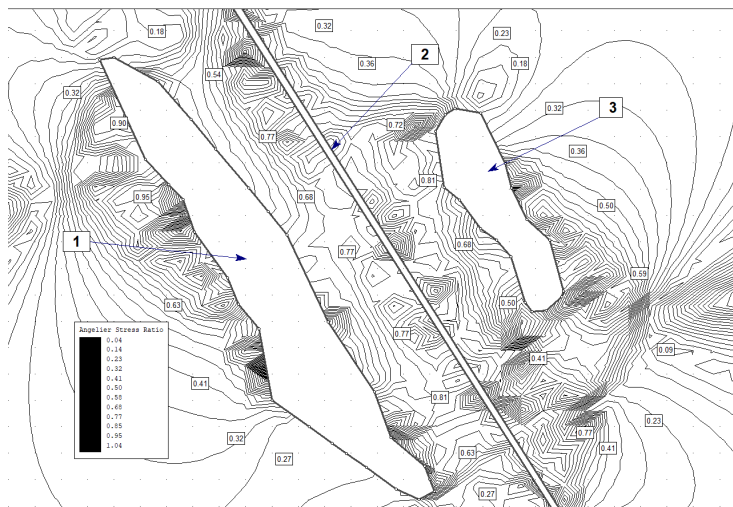


Рисунок 2. Особенности формирования зон опорного давления и релаксации в массиве горных пород вблизи горной выработки после отработки рудных тел на горизонте +925 м рудника «Кызыл-Алма»: 1 – рудное тело 10-Б; 2 – транспортный штрек; 3 – рудное тело 1-Г;

На рисунке 3 представлен график распределения тангенциальных напряжений τ_m вдоль контура рудного тела 10 Б. Согласно результатам моделирования, значения тангенциальных напряжений по контуру рудного тела изменяются в диапазоне от 3 МПа до 44 МПа. Такой диапазон изменения напряжений характеризует неоднородность их распределения по контуру выработанного пространства, сформированного в результате отработки рудного тела.

По горизонтальной оси ОХ графика отложена длина контура выработанного пространства, образовавшегося в результате отработки 10 Б рудного тела. По мере перемещения вдоль контура наблюдаются изменения величины тангенциальных напряжений τ_m , обусловленные перераспределением напряжений в массиве горных пород после удаления рудного тела. Полученная зависимость позволяет оценить характер распределения тангенциальных напряжений по контуру выработанного пространства и выделить участки с повышенными значениями напряжений.

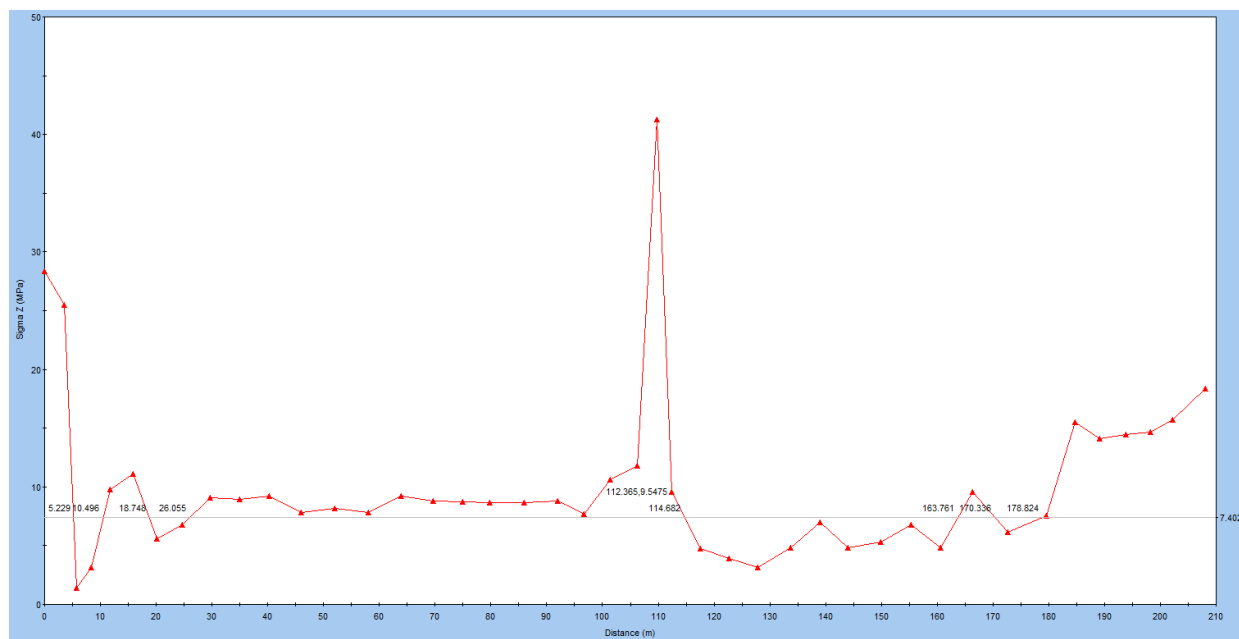


Рисунок 3. График распределения тангенциальных напряжений τ_m вдоль контура выработанного пространства, образовавшегося после выемки рудного тела 10 Б

На данном графике представлена динамика неравномерного распределения тангенциальных напряжений τ_m в массиве горных пород по периметру рудного тела, на основании чего можно сделать следующие выводы: наблюдается зона высоких напряжений в начальном участке; затем зона релаксации; зона сильной локальной концентрации в интервале 105–112 м; после нее резкое снижение напряжений на участке 113–128 м и, наконец, зоны повторно возрастающего опорного давления в заключительной части. Подобное состояние обычно объясняется взаимным влиянием фронта очистных работ, тектонических нарушений и зон опорного давления

Заключение

Проведённое моделирование напряжённого состояния массива горных пород в зоне формирующегося выработанного пространства при разработке месторождения на горизонте +925 м центрального участка рудника «Кызыл-Алма», а также в пределах транспортного штрека этого горизонта позволило установить характерные особенности перераспределения горизонтальных напряжений в массиве:

1. На боковой границе выработанного пространства со стороны расположения горной выработки, а также вблизи боковых стенок полевого штрека формируются зоны концентрации горизонтальных сжимающих напряжений. Данное явление объясняется перераспределением нагрузки под влиянием выработанного пространства и возникновением дополнительного поля сжатия в опорных частях массива.
2. В угловой части, примыкающей к висячему боку рудного тела выработанного пространства, фиксируются максимальные значения тангенциальных напряжений (рисунок 2). Данный участок является локальным очагом концентрации напряжений и оценивается как зона с высокой вероятностью развития потенциальных деформационных процессов.

3. Согласно результатам моделирования, величина растягивающих и сжимающих напряжений, формирующихся вблизи боковых стенок камеры, ниже соответствующих пределов прочности горных пород, что свидетельствует об относительно ограниченном риске резкого нарушения устойчивости на данных участках.

Использование установленных закономерностей формирования зон повышенных напряжений в дальнейшем позволит научно обоснованно разрабатывать геотехнологические схемы и оптимизировать параметры ведения горных работ при освоении участков, расположенных в пределах зон концентрации динамических проявлений.

Выявление и количественная оценка таких зон создают возможность заблаговременно прогнозировать напряжённо-деформированное состояние массива горных пород, определять потенциально опасные участки с повышенной вероятностью развития геомеханических и динамических явлений, а также учитывать особенности перераспределения напряжений при проектировании технологии отработки месторождения.

На основе полученных закономерностей могут быть обоснованы рациональные параметры систем разработки, последовательность и направление ведения очистных работ, размеры очистных пространств, параметры оставляемых целиков и мероприятия по управлению горным давлением. Кроме того, появляется возможность корректировки параметров крепления, схем поддержания горных выработок и мер по обеспечению устойчивости массива в условиях повышенной концентрации напряжений.

Применение данного подхода позволит повысить безопасность ведения горных работ, снизить вероятность возникновения динамических проявлений горного давления, обеспечить устойчивое состояние горных выработок и повысить эффективность освоения месторождения в сложных геомеханических условиях.

Список литературы

1. Абдурахманов Х.Х., Меликулов А.Д., Салямова К.Д., Гасанова Н.Ю., Бакиров Г.Х. Геомеханические факторы повышения эффективности геотехнологий с учетом их ресурсопроизводства и ресурсосбережения в современных рыночных условиях // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – 2020. – № 1.
2. Акбаров Т.Г., Уразов Ж.Д. Оработка месторождения Кызылалма системой разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства // Горный вестник Узбекистана. – 2011. – № 3.
3. Акбаров Х.А. Состояние, проблемы и пути расширения минерально-сырьевой базы золота Узбекистана // Горный вестник Узбекистана. – 2014. – № 3.
4. Арипова Ф.М., Каримов Н.Т., Иноятлов М.Ф., Таджибаев А.А. Некоторые результаты измерений напряженного состояния горных пород в массиве // Узбекский геологический журнал. – 1975. – № 3.
5. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А. Модели макросейсмического поля землетрясений Центральной Азии и их влияние на результирующие оценки сейсмической опасности // Геодинамика и тектонофизика. – 2020. – Т. 11, № 3. – DOI: 10.5800/GT-2020-11-3-0494.

6. Бакиров Г.Х. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АРОЧНОЙ КРЕПИ ОТКАТОЧНОГО ШТРЕКА В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ «КЫЗЫЛ-АЛМА» // *Universum: технические науки*. – 2022.
7. Бакиров Г.Х. и др. ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ВЫБОРА КОНСТРУКЦИИ И ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК // *IJODKOR O'QITUVCHI*. – 2023. – Т. 3.
8. Бакиров Г.Х. УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ МАССИВА В ЗОНАХ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ СИСТЕМАХ С ОБРУШЕНИЕМ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД // *European Journal of Interdisciplinary Research and Development*. – 2022. – Т. 3.
9. Бакиров Г.Х. Распределение напряжений вокруг выработанного пространства // *Экономика и социум*. – 2021.
10. Балек А.Е., Харисов Т.Ф., Авдеев А.Н., Харисова О.Д. Обоснование оптимального порядка отработки рудной залежи в условиях высоких напряжений и низкой прочности массива // *Известия вузов. Горный журнал*. – 2023. – № 3. – С. 55–65. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-3-55-65.
11. Балов С.В., Борщевский С.В., Капран Л.Н., Мельников С.А. Совершенствование элементов конструкции крепи, повышающих устойчивость горных выработок // *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. – 2025.
12. Меликулов А.Д. и др. Статья. Геомеханические факторы повышения эффективности геотехнологий с учетом их ресурсопродуктивности и ресурсосбережения в современных рыночных условиях // *Журнал «Проблемы энерго-и ресурсосбережения*. – 2019.
13. Меликулов А.Д. и др. Факторы обеспечения длительной устойчивости и безопасности подземных горных выработок шахт и рудников в условиях проявления тектонических процессов // *Вопросы науки и образования*. – 2019.
14. Bakirov G. et al. METALL ROMLI MUSTAHKAMLAGICH EGILUVCHAN QISMINING ISH SHAROITLARINI BAHOLASH VA UNING REJIMINI BOSHQARISH // *Sanoatda raqamli texnologiyalar/Цифровые технологии в промышленности*. – 2023. – Т. 1.
15. Sohibov I.Y. et al. “QIZIL-OLMA” KONI SHAROITIDA KON LAHIMLARIDAGI KON BOSIMINI EXAMINE 2D KOMPYUTER DASTURIDA HISOBLASH ISHLARINING TAHLILI // *Finland International Scientific Journal of Education, Social Science & Humanities*. – 2023. – Т. 11.
16. Yu G.N. et al. MAINTENANCE OF UNDERGROUND MINING DEVELOPMENTS IN SEISMIC-TECTONIC ACTIVE AREAS // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. – 2022.

References

1. Abdurakhmanov Kh.Kh. [Geomechanical Factors for Improving the Efficiency of Geotechnologies with Consideration of Resource Reproduction and Resource Conservation in Modern Market Conditions] // *Problemy energo- i resursosberezheniya*. – 2020. – No. 1. (In Russ.)

2. Akbarov T.G., Urazov Zh.D. [Development of the Kyzylalma Deposit Using a Horizontal Layer Mining System with Backfilling of Mined-Out Space] // Gornyj vestnik Uzbekistana. – 2011. – No. 3. (In Russ.)
3. Akbarov Kh.A. [Status, Problems, and Ways of Expanding the Mineral and Raw Material Base of Gold in Uzbekistan] // Gornyj vestnik Uzbekistana. – 2014. – No. 3. (In Russ.)
4. Aripova F.M., Karimov N.T., Inoyatov M.F., Tadzhibaev A.A. [Some Results of Measurements of the Stress State of Rock Masses in a Massif] // Uzbekskij geologicheskij zhurnal. – 1975. – No. 3. (In Russ.)
5. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A. [Models of the Macroseismic Field of Earthquakes in Central Asia and Their Influence on Resulting Seismic Hazard Assessments] // Geodinamika i tektonofizika. – 2020. – Vol. 11, No. 3. – DOI: 10.5800/GT-2020-11-3-0494. (In Russ.)
6. Bakirov G.Kh. [Calculation of Parameters of Arched Support in the Haulage Drift under the Conditions of the Kyzyl-Alma Mine] // Universum: tekhnicheskie nauki. – 2022. (In Russ.)
7. Bakirov G.X. i dr. [Substantiation of Principles for Selecting the Design and Optimal Parameters of Support for Underground Excavations] // IJODKOR O'QITUVCHI. – 2023. – Vol. 3. (In Russ.)
8. Bakirov G.Kh. [Management of Massif Condition in Zones of Abutment Pressure in Systems with Caving of Surrounding Rocks] // European Journal of Interdisciplinary Research and Development. – 2022. – Vol. 3. (In Russ.)
9. Bakirov G.Kh. [Distribution of Stresses Around Mined-Out Space] // Ekonomika i sotsium. – 2021. (In Russ.)
10. Balek A.E., Kharisov T.F., Avdeev A.N., Kharisova O.D. [Substantiation of the Optimal Sequence of Mining an Ore Deposit under Conditions of High Stresses and Low Massif Strength] // Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal. – 2023. – No. 3. – DOI: 10.21440/0536-1028-2023-3-55-65. (In Russ.)
11. Balov S.V., Borshchevskij S.V., Kapran L.N., Mel'nikov S.A. [Improvement of Support Structure Elements that Increase the Stability of Underground Excavations] // Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle. – 2025. (In Russ.)
12. Melikulov A.D. i dr. [Article. Geomechanical Factors for Improving the Efficiency of Geotechnologies with Consideration of Resource Reproduction and Resource Conservation in Modern Market Conditions] // Zhurnal «Problemy energo-i resursosberezheniya. – 2019. (In Russ.)
13. Melikulov A.D. i dr. [Factors Ensuring Long-Term Stability and Safety of Underground Mining Excavations in Mines and Ore Deposits under Conditions of Tectonic Process Manifestation] // Voprosy nauki i obrazovaniya. – 2019. (In Russ.)
14. Bakirov G. et al. METALL ROMLI MUSTAHKAMLAGICH EGILUVCHAN QISMINING ISH SHAROITLARINI BAHOLASH VA UNING REJIMINI BOSHQARISH // Sanoatda raqamli texnologiyalar/Цифровые технологии в промышленности. – 2023. – Vol. 1.

-
15. Sohibov I.Y. et al. “QIZIL-OLMA” KONI SHAROITIDA KON LAHIMLARIDAGI KON BOSIMINI EXAMINE 2D KOMPYUTER DASTURIDA HISOBLASH ISHLARINING TAHLILI // Finland International Scientific Journal of Education, Social Science & Humanities. – 2023. – Vol. 11.
 16. Yu G.N. et al. MAINTENANCE OF UNDERGROUND MINING DEVELOPMENTS IN SEISMIC-TECTONIC ACTIVE AREAS // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2022.